



TITLE:

引張あて材のゼラチン繊維の細胞膜構成

AUTHOR(S):

佐伯, 浩; 小野, 克巳

CITATION:

佐伯, 浩 ...[et al]. 引張あて材のゼラチン繊維の細胞膜構成. 京都大学農学部演習林報告 1971, 42: 210-220

ISSUE DATE:

1971-03-25

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/191485>

RIGHT:

引張あて材のゼラチン繊維の細胞膜構成

佐 伯 浩・小 野 克 巳

Cell Wall Organization of Gelatinous Fibers in Tension Wood

Hiroshi SAIKI and Katsumi ONO

目 次

要 旨	210	4. 考 察	214
1. 緒 言	210	引用文献	215
2. 材料と方法	211	Résumé	216
3. 結 果	212		

要 旨

12種の広葉樹材の引張あて材を光学顕微鏡および電子顕微鏡で調べ、ゼラチン繊維の細胞膜構成とその年輪内変化を検討した。電子顕微鏡によるゼラチン層Gの観察には、試料を過マンガン酸カリウムで染色し、エポンで包埋して作製した超薄切片を多く用いた。

1) (S_1+S_2+G)型のゼラチン繊維が見いだされた樹種は、ブナ、コナラ、クリ、アキニレ、ケヤキ、エノキ、ムクノキ、カツラ、ハリエンジュおよびトチノキの10種であった (Table)。

2) (S_1+G)型のゼラチン繊維はカツラとホソバアオダモで観察された。カツラでは2型のゼラチン繊維が観察されたのであるが、大部分は(S_1+G)型であった。

3) エノキのゼラチン繊維中には($S_1+S_2+S_3+G$)型に類似の構成が観察されたが、 S_3 の確認ができなかった。

4) ゼラチン繊維が(S_1+S_2+G)型の場合、晩材部では次第にGが薄くなり、ついにはGが消失して通常の2次膜構成となる。これに対し(S_1+G)型の場合、晩材部ではGが外側より次第に木化する傾向が観察された。年輪内の部位により2次膜構成の型が変化する例は認められなかった。

5) ハリエンジュのゼラチン繊維の中に、G内に特異な層を含んでいるものが観察された。その層は過マンガン酸カリウムによく染まり、ミクロフィブリルの配列もGの他の部分と異なっていた。

1. 緒 言

引張あて材は広葉樹の傾斜した幹や枝の上側の偏心した部分にみられる異常材で、多くの樹種ではゼラチン繊維が形成され、その構造的特徴は針葉樹のあて材 (圧縮あて材) にくらべ変化に富んでいる。

正常な木部繊維の2次膜は外層 S_1 、中層 S_2 、内層 S_3 の3層からなるが ($S_1+S_2+S_3$)、ゼラチン繊維にはミクロフィブリルの配列がほぼ繊維軸に平行で、ほとんど木化していないゼラチン層Gが存在し、2次膜の構成には (S_1+S_2+G)、(S_1+G) および ($S_1+S_2+S_3+G$) の3種の基本型があると

されている¹⁾。これらの型のあらわれ方については種々の報告があり、*Eucalyptus gigantea* の引張あて材では春材部で (S_1+G)、夏材部で (S_1+S_2+G) であり¹⁾、*Acer saccharum* では傾斜 10° の幹で (S_1+S_2+G)、傾斜 20° の幹で ($S_1+S_2+S_3+G$) を示し²⁾、*Salix fragilis* では3基本型のすべてが観察されたと報告されている³⁾。

引張あて材にゼラチン繊維が形成されない樹種もかなり多数存在するが^{4,5)}、これについても不確実な樹種がある。たとえば *Fraxinus excelsior* については、ゼラチン繊維が認められないとする報告⁶⁾ と、きわめて生長のよい幹で存在を認めた報告⁶⁾ とがある。

さらにG自体の構造の変化も報告されている。すなわち、*Quercus robur* ではゼラチン繊維の2次膜の構成は (S_1+S_2+G) であるが、晩材部でGが木化するのが観察されており⁷⁾、*Populus berolinensis*⁸⁾ および *Eucalyptus camadulensis*⁹⁾ ではGの中に sublayer あるいは2層構造が認められている。

これらの報告からゼラチン繊維のあらわれ方や膜層構造が多様であることがわかるが、これには樹種の特徴によるものと、2, 3の報告に示されているように、樹木の生育状況、あて材形成の条件、形成の時期(年輪内早材・晩材)などによる変化とが含まれていて、それらが十分に整理されていないように思われる。広葉樹材の引張あて材の性質をあきらかにするためには、この点を掘り下げて研究する必要がある、その予備的調査として京都市周辺で採取した12種の広葉樹あて材のゼラチン繊維の細胞膜構成とその年輪内変化を検討した。本報ではその結果の概要を述べるとともに、研究上の問題点について考察する。

この研究にあたって種々御指導・御助言くださった原田教授をはじめ木材構造学研究室の各位に深く感謝の意を表します。

2. 材 料 と 方 法

調査した樹種は12種(7科12属)である(Table)。Gは繊維状仮道管と真正木繊維に形成されるので、供試樹種の選定にあたっては繊維の構成を考え、真正木繊維からなる樹種(トチノキ、ハリエンジュなど)、繊維状仮道管よりなる樹種(カツラ、ホソバアオダモ)のように特徴のあるものを含め、また年輪内の変化を比較する意味で環孔材と散孔材の別を考慮した。それにゼラチン繊維を形成しない樹種とされているユリノキを加えた。

試料としては細い幹の屈曲部や枝の水平になっているところで偏心生長の著しい部分を採取し、固定などの特別の処理をしないでそのまま室内に保存した。次に試料の木口に塩化亜鉛ヨード液を塗布してゼラチン繊維の分布範囲を確かめ、その部分より小ブロックを取り出し観察に用いた。

光学顕微鏡では主として横断切片の塩化亜鉛ヨード液およびフロログルシン塩酸液による呈色とサフラン・ライトグリーンで2重染色した状態を観察した。また偏光顕微鏡のクロスニコルの下で膜層の複屈折を観察した。

電子顕微鏡観察は超薄切片法によった。小ブロックより厚さ 200μ の半径切片をとり、同一年輪内でゼラチン繊維の分布域の前半の部分と後半の特に年輪界に近い部分とを取り出した。環孔材と散孔材の年輪内を区分する共通の基準を設けることができないので、この報告では便宜上前者を早材部、後者を晩材部と呼称する。取り出した小片の処理と包埋は次の2方法によった。

第一は小片を気乾後シリカゲルと減圧により十分乾燥させるか、あるいはアルコールシリーズで脱水して、メチルメタクリレート・*n*-ブチルメタクリレート(2:1)で包埋、超薄切片とし、トルエンで脱包埋、白金パラジウムでシャドウした(Pt-Pd 切片と略称する)。第二は飽水状態の小片を3%過マンガン酸カリウム水溶液に減圧状態で2時間浸漬、水洗後アルコールシリーズで脱水し、プロピ

レンオキンドを経てエポン 812 A・B (2:8) で包埋, 超薄切片とした (Mn 切片と略称する)。超薄切片の作製にはダイヤモンドナイフを用いた。

3. 結 果

3.1 ゼラチン繊維の年輪内分布

光学顕微鏡観察に用いた染色法はいずれも細胞膜の木化の程度を見るもので, ゼラチン繊維は細胞膜に木化していない膜層 G を含むことにより検出される。道管要素, 柔細胞, 周囲仮道管および道管状仮道管には G は形成されないので, ゼラチン繊維の分布はこれらの構成要素の分布と関連する。環孔材で孔圏がほとんど道管と周囲仮道管で構成されている場合にはゼラチン繊維の分布は孔圏外縁から始まる。一方, 晩材部特に年輪界付近では繊維状仮道管あるいは真正木繊維で構成されていてもゼラチン繊維はなく, 木化した繊維細胞の層が見られる。

厚い G を持つ典型的なゼラチン繊維は一般に年輪の前半から中央にかけて存在し, 晩材に向かうにつれて, 後述するように G が薄くなるか, あるいは細胞膜の木化が強くなり, ゼラチン繊維の特徴が不顕著となる。

3.2 2次膜の構成

(1) 電子顕微鏡による G の観察 Pt-Pd 切片では典型的なゼラチン繊維の G は他の2次膜と比較して電子密度がやや低く, 粗な構造の層として認められる (Fig. 1)。既往の報告^{10,11)}で指摘されているような G の膨潤はここでは生じなかった。

これに対して Mn 切片では木化している他の膜層 (特に細胞間層 I) が高電子密度で, G は著しく電子密度の低い層として観察される (Fig. 2)。この場合, G には染色剤の沈着によると思われる微細な点や線の分布が見られ, それらがある方向に並んでいるのが認められる。また G の内側の内こうに面した縁は濃く染色されている場合が多い。

(2) ($S_1 + S_2 + G$) の構成 Fig. 1 および 2 はともにこの型の構成を示している。調査した樹種のゼラチン繊維ではこの型が最も多く観察された。すなわち, ブナ, コナラ, クリ, アキニレ, ケヤキ, エノキ, ムクノキ, ハリエンジュおよびトチノキのゼラチン繊維はこの型に属する。またカツラでも後述するようにこの型の繊維が混じっているのが見られた。

(3) ($S_1 + S_2 + S_3 + G$) の構成 エノキのゼラチン繊維には, Pt-Pd 切片で観察した場合, Fig. 3 に示したように S_2 と G との間に S_3 のように見える薄い層がしばしば認められる。この層の厚さは $0.04 \sim 0.06 \mu$ で, 年輪界付近の繊維にみられる通常の2次膜構成 ($S_1 + S_2 + S_3$) の S_3 にほぼ匹敵する。しかし Mn 切片で見ると Fig. 4 に示すように, S_2 の内側に G に接してやや電子密度が低い縁が見えるが, その厚さや電子密度が一樣でなく, S_3 と認定できる程の明瞭な層は観察できなかった。縦断切片の観察でも同様に S_3 の存在を確認できなかった。その他の樹種, 特にニレ科のアキニレ, ケヤキおよびムクノキで, S_2 と G との境界部に注意して観察したが, この構成のゼラチン繊維は見いだせなかった。

(4) ($S_1 + G$) の構成 この型はカツラとホソバアオダモに見られた (Fig. 5 および 6)。これらの繊維を縦断切片で観察すると Fig. 7 および 8 にみられるように, 微細な線が密に繊維の軸方向に配列した構造を示す。 G ではミクロフィブリルの配列が繊維の軸にほぼ平行であり, また木化

していないために
このような構造が
顕著にあらわれる
もので、これより
Fig. 5 および 6 で
ほとんど内こうを
埋める程に発達し
た厚い層が G であ
ることがわかる。

この場合 S_1 の
内側が直ちに G の
特徴を示すのでな
く、移行段階が認
められる (Fig. 5,
7 および 8 の 矢
印)。この移行段
階の幅は狭く、ま
た徐々に G に移行
しているので、 S_2
とするよりは移行
層とするのが適当
と考えた。しかし
カツラでは ($S_1 +$
 $S_2 + G$) の構成の
ゼラチン繊維も存
在し、($S_1 + G$) の
構成のものと混在する (Fig. 9)。

Table は以上述べた各樹種のゼラチン繊維の 2 次膜の構成をまとめたものである。

Table The secondary wall layers of gelatinous fibers in tension wood.

Species	Secondary wall of gelatinous fiber
<i>Fagaceae</i>	
<i>Fagus crenata</i> BLUME	$S_1 + S_2 + G$
<i>Quercus serrata</i> THUNB.	$S_1 + S_2 + G$
<i>Castanea crenata</i> SIEB. et ZUCC.	$S_1 + S_2 + G$
<i>Ulmaceae</i>	
<i>Ulmus parvifolia</i> JACQ.	$S_1 + S_2 + G$
<i>Zelkova serrata</i> (THUNB.) MAKINO	$S_1 + S_2 + G$
<i>Celtis sinensis</i> PERS. var.	$S_1 + S_2 + (S_3) + G$
<i>japonica</i> (PLANCH.) NAKAI	$S_1 + S_2 + G$
<i>Aphananthe aspera</i> (THUNB.) PLANCH.	$S_1 + S_2 + G$
<i>Cercidiphyllaceae</i>	
<i>Cercidiphyllum japonicum</i> SIEB. et ZUCC.	$S_1 + G$ $S_1 + S_2 + G$
<i>Magnoliaceae</i>	
<i>Liriodendron tulipifera</i> L. *	
<i>Leguminosae</i>	
<i>Robinia pseudo-acacia</i> LINN.	$S_1 + S_2 + G$
<i>Hippocastanaceae</i>	
<i>Aesculus turbinata</i> BLUME	$S_1 + S_2 + G$
<i>Oleaceae</i>	
<i>Fraxinus Sieboldiana</i> BLUME	$S_1 + G$

* Gelatinous fibers could not be found in the upper side wood of branches.

3.3 2 次膜の構成の年輪内変化

前述の 2 次膜の構成は早材部にみられる G の厚い典型的なゼラチン繊維で認められたものである。次に晩材部のゼラチン繊維を調べ、その変化を検討した。

構成が ($S_1 + S_2 + G$) の場合、早材部の典型的なゼラチン繊維では G が S_2 の 1.5~3 倍と厚いが、晩材部では次第に薄くなり (Fig. 10)、ついには消失して通常の 2 次膜構成 ($S_1 + S_2 + S_3$) となる。次に構成が ($S_1 + G$) の場合、晩材部では繊維の細胞膜が外側から木化する傾向が見られる。Fig. 11 に見られるように塩化亜鉛ヨード液で染色したとき、晩材の繊維では細胞膜の内こう側のみが紫色に染色され、外側から木化が進んでいることを示している。Mn 切片においても G がかなり染色され (Fig. 12)、G が外側から木化しているように思われる。

調査した樹種の中では 2 次膜構成の型が年輪内で変化する例は見られなかった。カツラでは ($S_1 + G$) と ($S_1 + S_2 + G$) の 2 型が見られたが、Fig. 9 からあきらかなように 2 型の繊維が混在していて、早材から晩材へ一方の型から他方の型へ移行する傾向は認められなかった。

3.4 Gの特異構造

ハリエンジュのゼラチン繊維の2次膜の構成は(S_1+S_2+G)であるが、その中で特異な構造をもつGが観察された。Fig. 13に見られるように、Gの内側がかなり染色され、特に高濃度の層(G_x と呼称する)が認められる。これを高倍率で見るとマイクロフィブリルの配列方向もGの他の部分と異なっていると考えられる(Fig. 14)。 G_x はFig. 13のようにGの中央に存在する場合もあれば、内こう側にあらわれる場合もある。この層は非常に濃色に染色しているが、これが木化によるのか、過マンガン酸カリウムに反応する他の物質を含んでいるのか不明である。 G_x をもつゼラチン繊維は早材・晩材のどちらでも観察されたが、同一試料から取った切片でも全く認められない場合があり、分布は限られているように思われる。

4. 考 察

4.1 膜層構成の観察

光学顕微鏡では染色法により細胞膜の木化の強弱を判別できるが、膜層構成の型の検討は電子顕微鏡によらなければならない。Pt-Pd 切片では(S_1+S_2+G)の場合は判別しやすいが(Fig. 1), (S_1+G)の場合は S_1 に続く層をGとするか、 S_2 とするか判別しがたい。Gの確認にかぎらず一般に膜層構成の観察には、化学成分の分布とマイクロフィブリルの配列が察知できることが望ましい。Mn 切片では過マンガン酸カリウムにより細胞膜の木化部分が種々の濃度に染色すること、またマイクロフィブリルの配列状態により染色剤の沈着に差異があらわれ、それが配列を検討するための手がかりとなる点ですぐれている。

しかし染色の濃淡と木化の強弱、あるいはリグニン分布とがどの程度の関連性をもつのか不確かであり、さらにこの染色濃度にはリグニン以外の物質が関与することも考えられる。Gの木化現象の確認、他の2次膜(S_1 , S_2 および S_3)の木化の程度とその変化を調べるためには細胞膜におけるリグニン分布を正確に測定することが必要となる。引張あて材細胞膜のリグニン分布をフッ化水素酸処理法により観察した報告¹²⁾があるが十分でない。

また Mn 切片の写真上にみられる微細な糸状構造は必ずしもマイクロフィブリルの配列そのものを示すものではなく、染色剤の沈着状態を示すものと考えられる。従ってマイクロフィブリルの配列を検討するためには、横断切片とともに縦断切片の観察、レプリカ法の併用を考えなければならない。 $(S_1+S_2+S_3+G)$ の構成における S_3 の確認には特に技術的な工夫が必要であろう。偏光顕微鏡による膜層およびマイクロフィブリルの配列方向の観察は細胞の小さい広葉樹材では有効な方法ではない。

4.2 2次膜の構成とその変化

尾中⁹⁾はGの分化状態を、第I型：第2次肥厚膜の厚さはほとんど変わらず、内側に向い次第に木化度を減じ膠質層に移行する(S_2 から漸進的にGに移行)、第II型：第2次肥厚膜全層が膠質層となったもの(S_1+G と考えられる)、第III型：第2次肥厚膜の内側に独立して分化した膠質層を生ずるもの(S_1+S_2+G あるいは $S_1+S_2+S_3+G$ と考えられる)、とに区分し、材の大部をなす繊維が真正木繊維のものは第III型を、有縁膜孔の発達した繊維状仮道管のものは第II型を生ずる傾向があるとしている。今回の調査では繊維が真正木繊維の樹種および真正木繊維と繊維状仮道管よりなる樹種において(S_1+S_2+G)型のゼラチン繊維が観察され、繊維状仮道管より構成されている樹種のカツラとホソバオダモにおいて(S_1+G)型が観察された。従って尾中の指摘は樹種の特徴をも含めた概略的な傾向を意味し、引張あて材中で繊維状仮道管がすべて(S_1+G)型となる傾向をもつものではないことがわかった。

カツラでは (S_1+G) と (S_1+S_2+G) の2型が観察された。(S_1+G) 型において S_1 と G との間に移行層が認められることから、この型は (S_1+S_2+G) 型において S_2 がきわめて薄くなった状態、あるいは S_2 の性質が変化して次第に G との差が少なくなっている状態とも考えられ、樹種によってはカツラのように2型にまたがる場合もあらわれるのであろう。

($S_1+S_2+S_3+G$) 型は確認が容易でないが、*Celtis occidentalis* のゼラチン繊維でこの型が観察されているので¹⁰⁾、エノキで確認されるならば、*Celtis* 属の特徴と考えられる。正常な繊維の2次膜の形成は S_3 で終了するのであるから、それ以後に厚い G が形成されるのは特異な膜層形成であり、この型が存在するとすれば、正常な繊維においてかなり厚い S_3 を持つ樹種に限定されるように思われる。

広葉樹材の中にはゼラチン繊維を形成しない樹種がかなり多数存在する。その1種であるユリノキについて調査したが、枝の上側の偏心生長の著しい個所でも繊維細胞膜は木化していて、ゼラチン繊維は認められなかった。しかし繊維の細胞膜が木化していない例もあり¹³⁾、このようなゼラチン繊維を形成しない樹種の偏心生長部の繊維についても調査する必要がある。典型的な G を持つ引張あて材ゼラチン繊維と正常な繊維との間に種々の中間的な性質の繊維の存在が考えられる。

年輪内変化において (S_1+S_2+G) 型の場合、*Quercus robur* のように晩材で G が木化する例⁷⁾はこの調査では認められないで、 G が晩材では次第に薄くなり普通の構成となる経過を示した。(S_1+G) 型の場合、Fig. 12 から G が外側から木化していると考えた。しかし G が木化している場合だけではなくて、 S_2 が形成されるか移行層の幅が広くなり、例えば尾中の第I型の状態となる可能性も考えられる。

ここで調査した試料は枝あるいは幹で一定していない。そこでブナとケヤキについて幹と枝の引張あて材を比較したが、ゼラチン繊維の膜層構成に差異は認められなかった。しかし樹木内の部位との関係はなお詳細な検討が必要である。

引用文献

- WARDROP, A. B. and DADSWELL, H. E.: The Nature of Reaction Wood, IV. Variations in Cell Wall Organization of Tension Wood Fibers, *Australian J. Botany* **3** (2), 177—189 (1955)
- MANWILLER, F. G.: Tension Wood Anatomy of Silver Maple, *Forest Prod. J.* **17** (1), 43—48 (1967)
- ROBARDS, A. W.: The xylem fibers of *Salix fragilis* L., *J. Royal Microscopical Soc.* **87**, 329—352 (1966)
- 尾中文彦: アテの研究, 木材研究, 第1号, 1—88, (1949)
- HÖSTER, H. and LIESE, W.: Über das Vorkommen von Reaktionsgewebe in Wurzeln und Ästen der Dikotyledonen, *Holzforschung* **20** (3), 80—90 (1966)
- WHITE, D. J. B. and ROBARDS, A. W.: Gelatinous Fibres in Ash (*Fraxinus excelsior* L.), *Nature* **205**, 818 (1965)
- CASPERSON, G.: Über die Bildung von Zellwänden bei Laubhölzern 4. Mitt: Untersuchungen an Eiche (*Quercus robur* L.), *Holzforschung* **21** (1), 1—6 (1967)
- CASPESRON, G.: Probleme morphologischer Untersuchungen an Pappelholz, *Faserforschung und Textiltechnik* **19** (8), 345—350 (1968)
- BLAND, D. E. and SCURFIELD, G.: The chemistry of reaction wood. Part IV. The distribution and nature of the lignin in seedlings of hardwoods, *Holzforschung* **18** (6), 161—166 (1964)
- CÔTÉ, W. A. Jr. and DAY, A. C.: The G Layer in Gelatinous Fibers—Electron Microscope Studies, *Forest Prod. J.* **12** (7), 333—335 (1962)
- SACHSSE, H.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen über die Zellwandstruktur von Zugholzfasern, *Holz als Roh- und Werkstoff* **20** (11), 429—433 (1962)
- BENTUM, A. L. K., CÔTÉ, W. A. Jr., DAY, A. C. and THIMELL, T. E.: Distribution of Lignin in Normal and Tension wood, *Wood Sci. and Tech.* **3**, 218—231 (1969)

13) 小野克巳：引張あて材のゼラチン繊維の膜層構成について，京都大学卒業論文，(1969)

Résumé

Cell wall organization of tension wood gelatinous fibers and its variation within a growth ring were investigated by light and electron microscopy. Tension wood specimens were taken from crooked shoots and branches having an eccentric radial growth of twelve hardwood species. In order to examine the layer structure of the wall ultrathin sections, stained with potassium permanganate and Epon-embedded, were preferably used to those sections, methacrylate removed and Pt-Pd shadowed.

1) Gelatinous fibers of the S_1+S_2+G type were found in tension wood of ten species as shown in Table.

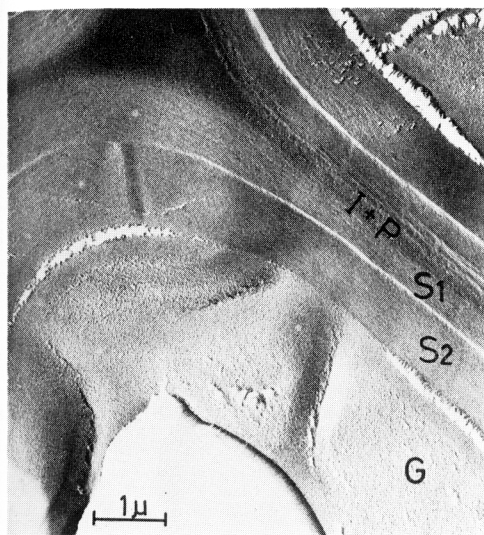
2) Gelatinous fibers of the S_1+G type were observed in tension wood of *Fraxinus Sieboldiana* BLUME and *Cercidiphyllum japonicum* SIEB. et ZUCC. The latter contained two types of gelatinous fibers, though most of them were of the S_1+G type.

3) In tension wood of *Celtis sinensis* PERS. var. *japonica* (PLANCH.) NAKAI a number of gelatinous fiber walls appeared to be composed of $S_1+S_2+S_3+G$ layers on the cross sections, methacrylate removed and Pt-Pd shadowed. The layer S_3 , however, could not be confirmed on the sections, stained with potassium permanganate and Epon-embedded.

4) Within a growth ring in which gelatinous fibers were of the S_1+S_2+G type, thickness of the gelatinous layer decreased in late wood fibers near the terminal. Within a growth ring of the S_1+G type fibers, on the other hand, the gelatinous layer appeared to be lignified from its outer zone in late wood.

It could not be observed that the fiber wall type altered from a type to another depending on the positions within a growth ring.

5) In tension wood of *Robinia pseudo-acacia* LINN., gelatinous layers occasionally contained an extraordinary sublayer, stained densely with potassium permanganate and distinct in microfibrillar orientation from other parts of the gelatinous layer.



I : Intercellular layer
 P : Primary wall
 S₁ : Outer layer of the secondary wall
 S₂ : Middle Layer of the secondary wall
 S₃ : Inner layer of the secondary wall
 G : Gelatinous layer

Fig. 1. Gelatinous fiber wall in *Quercus serrata* THUNB. The secondary wall consists of S₁, S₂ and G. Electron micrograph of the ultrathin cross section, methacrylate removed, Pt-Pd shadowed [Pt-Pd cross section].

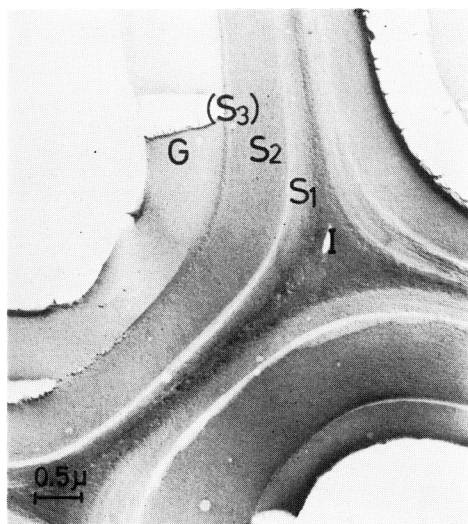


Fig. 3. Gelatinous fiber wall in *Celtis sinensis* PERS. var. *japonica* (PLANCH.) NAKAI. A S₃-like layer is present between S₂ and G. [Pt-Pd cross section].

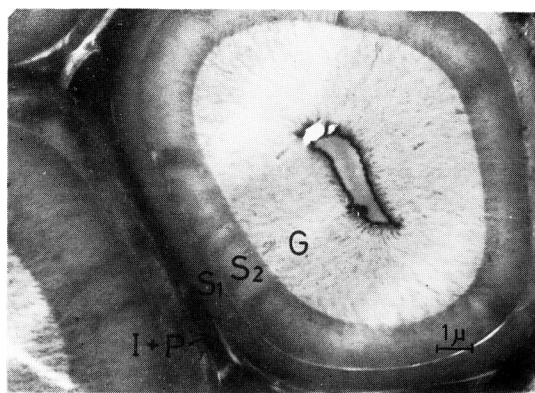


Fig. 2. Gelatinous fiber wall in *Fagus crenata* BLUME. The secondary wall consists of S₁, S₂ and G. Electron micrograph of the ultrathin cross section, stained with potassium permanganate, Epon-embedded [Mn cross section].

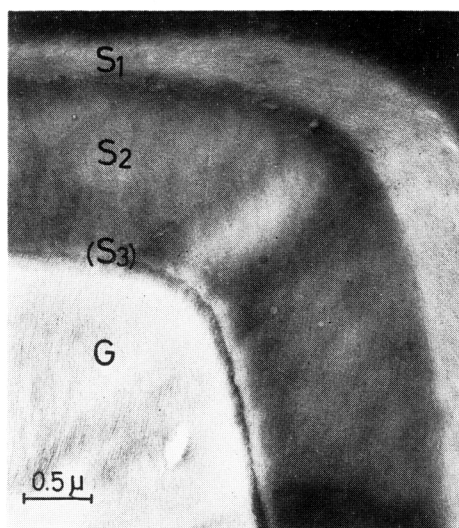


Fig. 4. The secondary wall layers of a gelatinous fiber in *Celtis sinensis* PERS. var. *japonica* (PLANCH.) NAKAI. Note the boundary between S₂ and G. Existence of S₃ can not be confirmed. [Mn cross section].

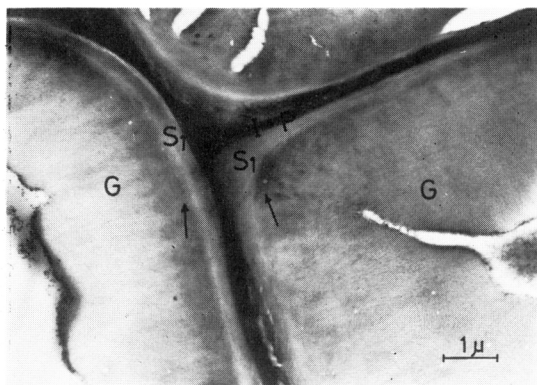


Fig. 5. Gelatinous fiber wall in *Fraxinus Sieboldiana* BLUME. The secondary wall consists of S_1 and G . Arrows indicate a transitional zone from S_1 to G . [Mn cross section].

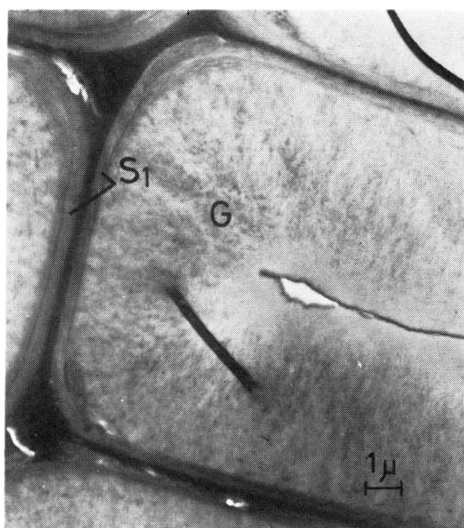


Fig. 6. Gelatinous fiber wall in *Cercidiphyllum japonicum* SIED. et ZUCC. The secondary wall consists of S_1 and G . [Mn cross section].

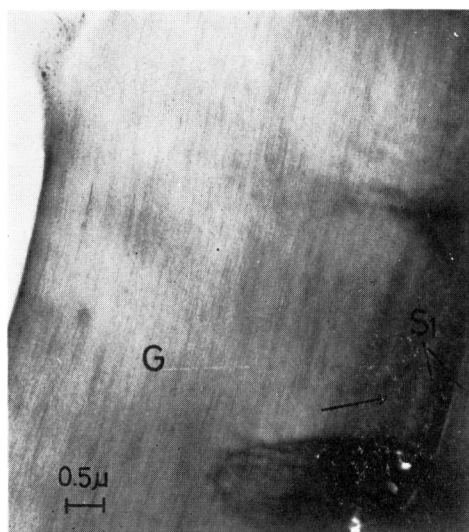


Fig. 7. Longitudinal section of G in *Fraxinus Sieboldiana* BLUME. Arrow indicates the transitional zone from S_1 to G . [Mn tangential section].

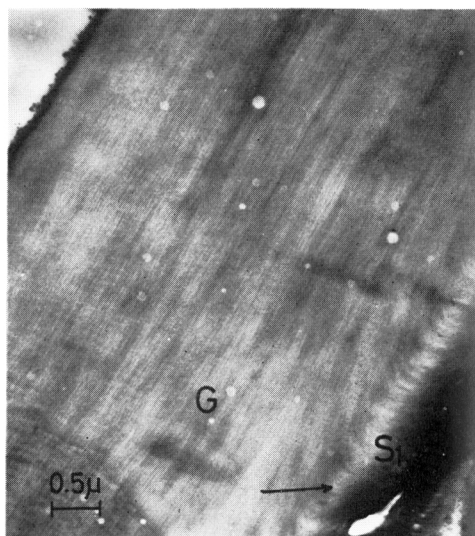


Fig. 8. Longitudinal section of G layer in *Cercidiphyllum japonicum* SIED. et ZUCC. Arrow indicates the transitional zone from S_1 to G [Mn tangential section].

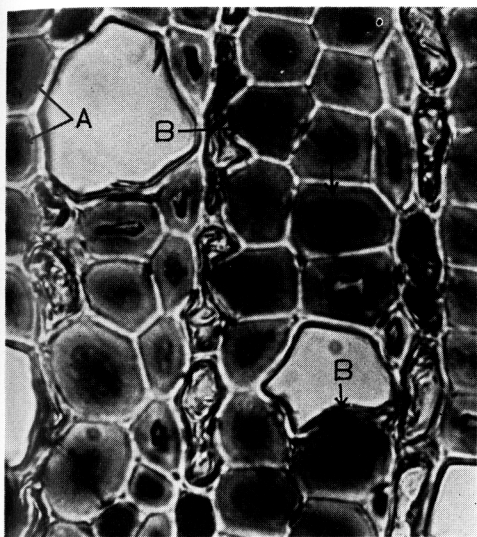


Fig. 9. Photomicrograph of cross section of tension wood in *Cercidiphyllum japonicum* SIED. et ZUCC., stained with chlor-zinc-iodine. Two types of gelatinous fibers, the S_1+S_2+G type (A) and the S_1+G type (B), are observed.

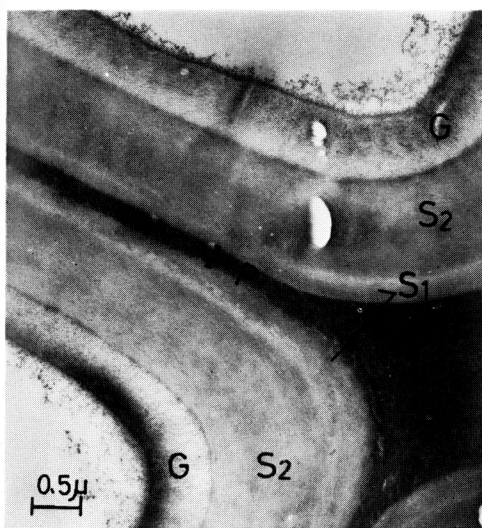


Fig. 10. Gelatinous fiber wall near the terminal of a growth ring in *Zelkova serrata* (THUNB.) MAKINO. [Mn cross section].

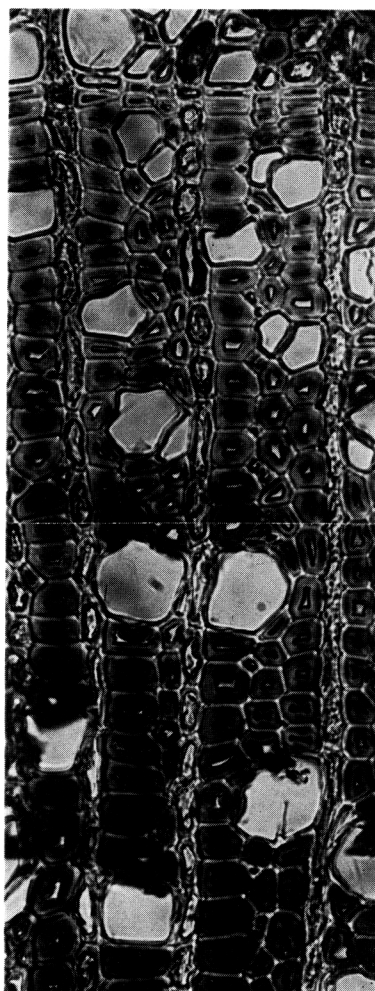


Fig. 11. Photomicrograph of cross section of tension wood in *Cercidiphyllum japonicum* SIEB. et ZUCC., stained with chlor-zinc-iodine. Note the transition from the highly-stained walls in the middle to the poorly-stained walls near the terminal of the growth ring. In the latter only the lumen side zone of the wall is stained a bluish violet color.

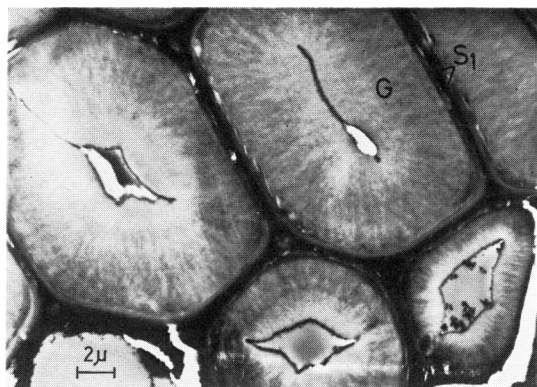


Fig. 12. Gelatinous fiber wall near the terminal of a growth ring in *Cercidiphyllum japonicum* SIEB. et ZUCC. The outer zone of the gelatinous layer shows high electron density, suggesting progressive deposition of lignin. [Mn cross section].

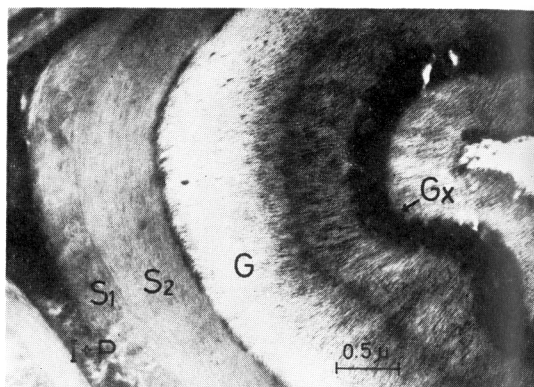


Fig. 13. An extraordinary structure of the gelatinous layer found in *Robinia pseudo-acacia* LINN. [Mn cross section].

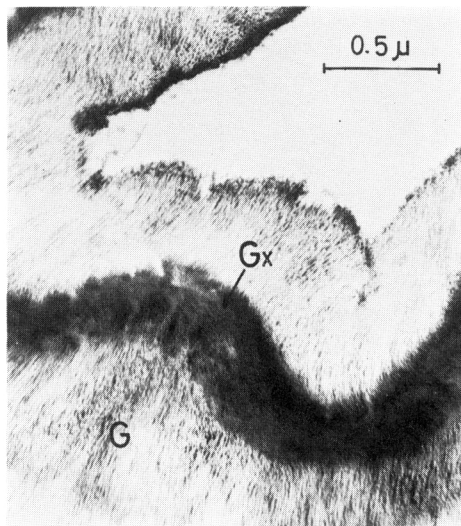


Fig. 14. Enlarged view of the gelatinous layer illustrated in Fig. 13. The sublayer G_x is distinct from other parts of the gelatinous layer by its electron density and microfibrillar orientation. [Mn cross section].